昭和39年8月25日　国鉄東局特別扱承認雑誌第1915号　昭和39年12月26日第3種郵便物認可　昭和50年8月1日発行（毎月1回1日発行）第12巻 第8号 通巻第131号

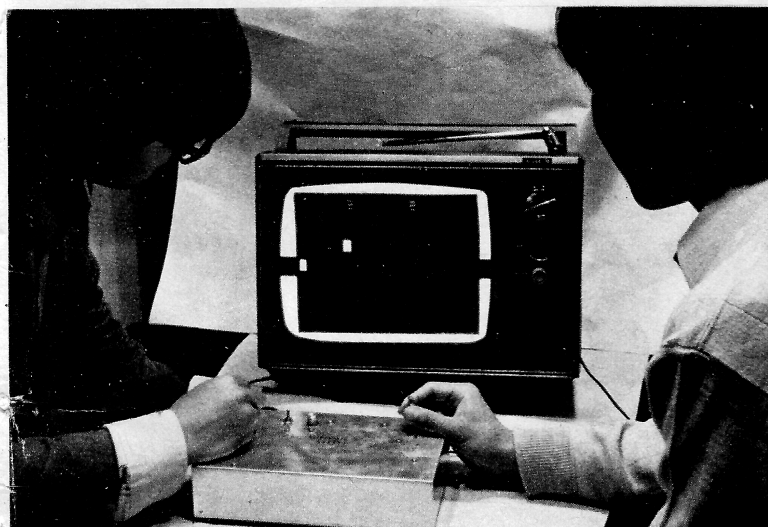
トランジスタ技術

Audio & Electronics

1975

〈特集〉 汎用OPアンプのグレードアップ技法

〈別冊付録〉 最新半導体情報 No. 74

●家庭テレビを改造せずに楽しめる●

電子ホッケーの製作

新津茂夫

最近繁華街のゲーム・コーナーに，電子化された各種ゲームがいろいろでていますが，その中でもＴＶを使った電子ピンポンやバスケットなど，いったいどうやって動作させているのだろうかと，少し電気をかじった人なら考えさせられるところです．

実際これらのゲームの大部分は，ディジタル的に処理され，複雑な回路となっているようですが，できるだけ回路を簡単にかつ安価に，またゲームとしてのおもしろさをできるだけ多く，さらにＴＶとのインターフェースを簡単にという目標で，アナログ的に考えて作ったのが，自称「電子ホッケー」なる家庭用ゲーム・マシンの誕生となったわけです．

クリップで，自宅のＴＶのアンテナ端子につなぐだけで，即ホッケー場に早変わりというわけですが，ここではカラー表示はしていません．あの複雑怪奇なカラーＴＶの裏板をはずして，線を数本付けてもよいというのでしたら，意外と簡単にカラー化できるのですが，初期の目標とはずれるのでここでは白黒表示としています，

このゲーム・マシンは，基本的な動作さえわかれば，回路はそれを組み合わせてあるだけなのでそれほどむずかしくはありませんが，ＴＶに映すため最終的に映像信号を作るので，ＴＶをはじめての人には少し理解しにくいかもしれません．

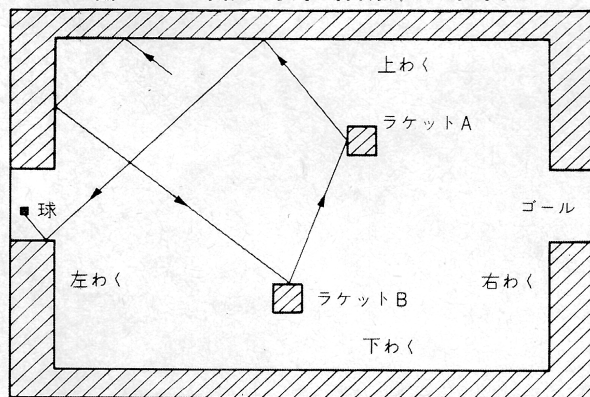
ゲームの概要

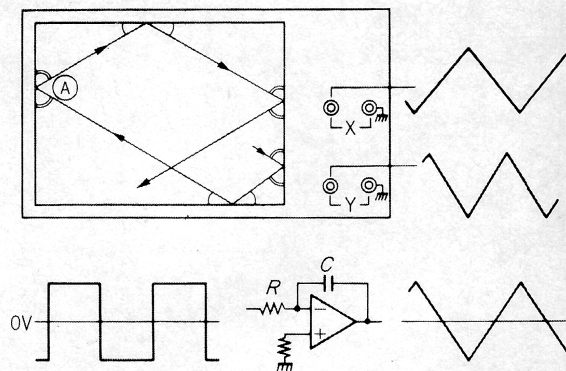
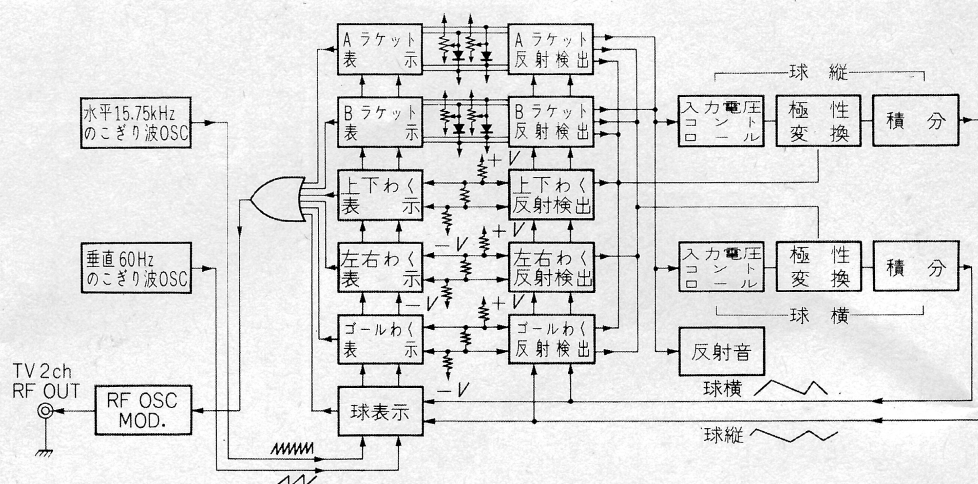
表示は図１のように，周囲のわくとゴール，それに二つのラケットと球です．ラケットは4ch用の可変抵抗でフィールド内を自由に動くことができます．このラケットのそれぞれの面の当たった側へ球を反射させますが，またそれと同時に左右に当たれば左右の速度を，上下に当たれば上下の方向の球の速度を当てるごとに増加させます．

球はわくに等角反射をしながら動いていきますが，球自体だんだん速度を落としていき，ラケットに当たらなければ最後は止まるようにしてあります．また球がゴールのわく内へ入ると，そのまま反射しながら奥へ入っていって得点となるわけです

まず，スタートＳＷを押すと球は中央に置かれます．このままでは球は動きませんから，ラケットで当てることにより，球は速度を増していき，わくの反射などを利用して相手のゴール内へ入れ合うわけです．このゲームのおもしろさは，打ち合いになると球の速度がどんどん増していって，ラケットが追いつかなくなり，なかなか相手のゴールに入れられないというところです．

一度ゴールへ入れますと，スター

〈図１〉ＴＶ画面の表示（斜線部は白表示）

〈図２〉三角波による球の動きと三角波の作り方

A
X
Y

〈図3〉
本機のブロック・ダイヤグラム

トSWを押さないかぎり球は出てきません．遊び方としては一定の時間を決めておき，相手のゴールに何回入れたかで得点を競うのが良いかと思います．

回路構成

このゲームはラケットやゴール，球のスピードの変化など余分な回路がはいっていますが，本質的な動きは球がわくの中を等角反射をしながら動くことです．

ここに一つのおもしろい実験があります．オシロスコープをX - Yにして両端子に正弦波を入れますと，リサージュ図形を描くことは誰でも知っています．それではこの両軸に，それぞれ少しだけ周波数の離れた0.5Hzくらいのゆっくりした発振周波数の三角波を入れたら輝点はどう動くでしょうか．

図2において輝点の動きをX成分，Y成分に分解して考えると，それぞれの速さは三角波のためいつも一定ですので，Ⓐ点においてはY成分はそのまま上に動いているのに対して，X成分は反転するので等角反射をし，あたかも壁にあたったかのように反射します．

この球の動きは実におもしろく，なかなかあきのこないものなのですが，ただこのようなゆっくりした三角波の発振器はあまりありませんので，作るとしたら図のように方形波を積分するのも一つの方法です．

全体の回路構成は**図3**のようになります．この左半分は表示のための回路であり，球の動きには何ら関係ありません．つまり，この部分では球やわくなどの電圧関係を縦は垂直，横は水平ののこぎり波を使って，画面上の位置に変換して映像信号としています．したがって，実際の球の動きとTV上の球の動きがずれることはありません．

さて次に右半分の反射検出部分と球を作る部分ですが，球はさきほどの説明で三角波を使えばよく，過去に試作した電子ピンポンもこの方法で作ってみましたが多少問題を生じました．今回も最終的には三角波を利用することにしましたが，あくまでも積分をして作るという考え方から始めています．

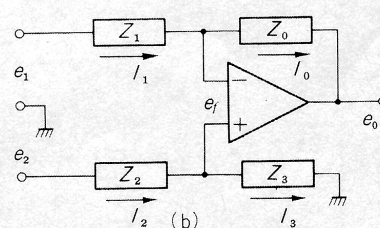
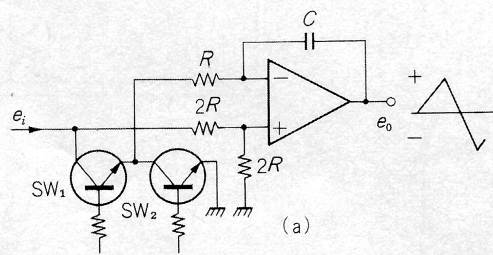
まずある入力電圧を積分していくと球は動いていき，わくと同じ電圧になると，当たったというパルスの指令により極性変換で入力電圧を反転させて，逆側に積分をし始め，球は反射されたことになります．このように上下左右わくで電圧をおさえられていますので，球はそれ以上の電圧になることはできず，最終的には球は三角波となるわけです．ただしゴールは別で，そこには電圧の壁はないので球はそのまま入っていきます．

またラケットに当たると，パルスにより極性を反転するのと同時に，入力電圧を増加させて，積分の時間を速くする，つまり球のスピードを増加させたことになります．そのほかラケットに当たると，反射音がNANDの発信音で一定時間出るようにしてあります．

以上で大まかな回路動作を説明しましたので，次にそれぞれの回路について詳しく説明していきましょう．

球

球をつくる部分は**図4（a）**の回路

〈図4〉
積分の反転

において，トランジスタSWのSW$_1$ SW$_2$ のどちらがONかによって，積分の入力電圧の極性が選べますので，球の電圧がラケットやわくの電圧に等しくなったときに出る反射パルスにより，積分は反転されて三角波を作っています．

ところで，なぜこの回路で積分が反転されるかは，図4(b)を見てください．

ここで，$I_1=I_0$，$I_2=I_3$とすると，

$$I_1=\frac{e_1-e_4}{Z_1}=\frac{e_f-e_0}{Z_0}$$

となります．したがって，

$$e_0=e_f\left(1+\frac{Z_0}{Z_1}\right)-\frac{Z_0}{Z_1}e_1$$

また，

$$e_f=\frac{Z_3}{Z_2+Z_3}e_2$$

であるので出力の式は，

$$\therefore e_0=\frac{Z_3}{Z_2+Z_3}\left(1+\frac{Z_0}{Z_1}\right)e_2-\frac{Z_0}{Z_1}e_1$$

この式に，$Z_0=1/SC$，$Z_1=R$ $Z_2=2R$，$Z_3=2R$を代入すると，

$$e_0=\frac{1}{2}\left(1+\frac{1}{SCR}\right)e_2-\frac{1}{SCR}e_1$$

（ただし，Sはラプラス変換の変数）となります．

さらにSWの条件を入れますと，

SW$_1$がON，SW$_2$がOFFでは，

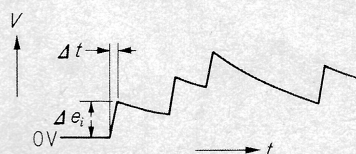
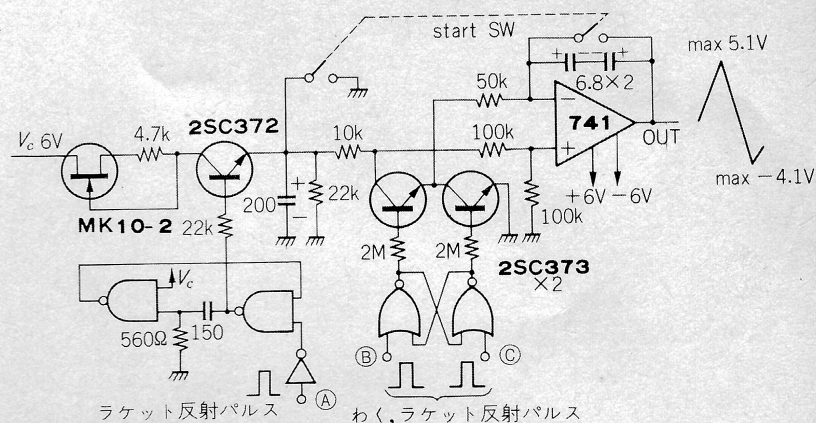
$$e_1=e_2=e_i$$

$$\therefore e_0=\frac{1}{2}e_i-\frac{1}{2CR}\int e_i\,dt \quad \cdots\cdots(1)$$

SW$_1$がOFF，SW$_2$がONでは，

$$e_1=0,\quad e_2=e_i$$

$$\therefore e_0=\frac{1}{2}e_i+\frac{1}{2CR}\int e_i\,dt \quad \cdots\cdots(2)$$

となり，入力電圧e_iがtの関数でないなら(1)，(2)式の前項は定数項となり，積分は明らかに反転されています．このようにこの回路は非常に簡単で，さらにトランジスタSWのベースをTTLでそのまま駆動することができます．

〈図5〉球の回路（縦，横必要）

そのほかに球のスピードを変えるための回路を加えると，最終的には図5のような回路を縦と横の二つ作ることになります．なお，この二つは完全に独立に動いています．

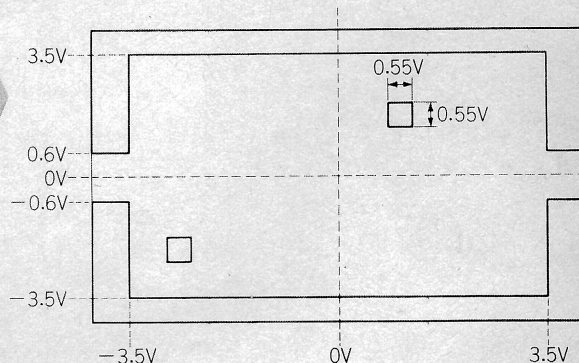
さて，もしこれが球縦とすると，ラケットの上下に当たったときのパルスをAに加えると，NANDのワンショットマルチでトランジスタSWを一定時間（図では150mS）ONにし，このとき入力電流をFETの定電流回路で定電流にしていますので，一定の電荷が200μFのコンデンサに充電されることになります．

ここで一度にコンデンサに充電させないため，ラケットに球を続けて何回も当てると，そのたびにコンデンサの両端の電圧，つまり積分器の入力電圧は増加し，球のスピードが速くなります．もっとも電圧に限界があり，またスピードを徐々に落とすために，200μFと並列に22kΩを入れています．

球の動き方は定電流の4.7kΩと，コンデンサと並列の22kΩで調整できますが，定電流の値は使用するFETのI_{DSS}によってだいぶ変わりますので，この4.7kΩは調整する必要があるかもしれません．結局積分器の入力電圧は，図6のように変化していって，球の速度を変えていくことになります．

極性切り替えのトランジスタのベース抵抗に，2MΩと高抵抗を使っていますが，これは，FET SWでないためにベース電流も積分してしまい，球が止まっている時のドリフトとなるためです．球全体の速度は，積分器の3μFを調整してください．球を中央に持ってくるスタートSWは，図5のように入力と積分のコンデンサをもう一つの回路と一緒に，4回路のプッシュSWで原始的にショートするというものです．

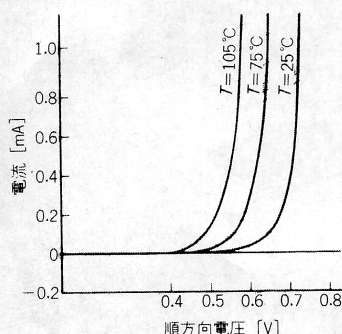
さてここまできたところで，さきほど導いた積分の式にもどりますが，なんとe_iは図6のようにtによってだいぶ変化しています．つまり(1)式，

〈図7〉球，ラケット，わく，ゴールの電圧関係

〈図6〉積分器の入力電圧変化e_i（200μFの両端の電圧）

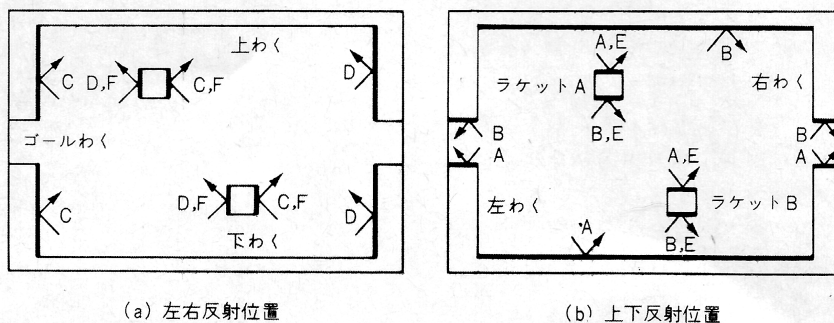
〈図8〉 シリコン・ダイオードの順方向特性

〈図9〉 反射位置（A, B, C, D反射パルス, E, F加速パルス——全回路図参照）

(a) 左右反射位置

(b) 上下反射位置

(2)式の前項を定数項とみなせないのです．特に問題になるのは当たったときのΔtによるΔe_iの増加で，e_iを0VとしたときΔe_iは(1)，(2)式に正入力として入り，(1)式の場合は負方向へ出力が出なければならないのに，最初はΔe_iのため正方向へ若干動いてから負方向へ動く，という根本的欠陥があります．

しかしながら回路テクニックである程度カバーできますし，初速度ゼロのときのみわずかに気になる程度です．厳格な方は他の回路で考えてみてください．それから積分器のコンデンサは極性を打ち消して（＋－，－＋と直列に），必ず無極性にしてください．

球反射

まずラケットやわくの電圧を決定します．OPアンプを＋6V，－6Vで動かしますので，出力振幅は±4Vは出ると思われます（球の積分器の出力電圧の実測は＋5.1V，－4.1V）．そこで上下左右わくの電圧を図7のように±3.5Vに決めます．ゴールわくの±0.6Vは，あまり大きくするとゴールにすぐ球が入ってしまいますので，一応この値で作り，後でゲームをしながら自由に調整して一番おもしろくなるようにしてください．

ラケットの大きさはどこの場所でも一定でなければなりませんので，シリコン・ダイオードの順方向電圧0.55Vを使っています．普通シリコン・ダイオードの順方向電圧は0.7Vですが，図8のように流す電流や温度によっても大きく変わり，この回路ではラケットの可変抵抗に20kΩを使用している関係上，あまり電流がとれず，約10μAしかダイオードに流していません．

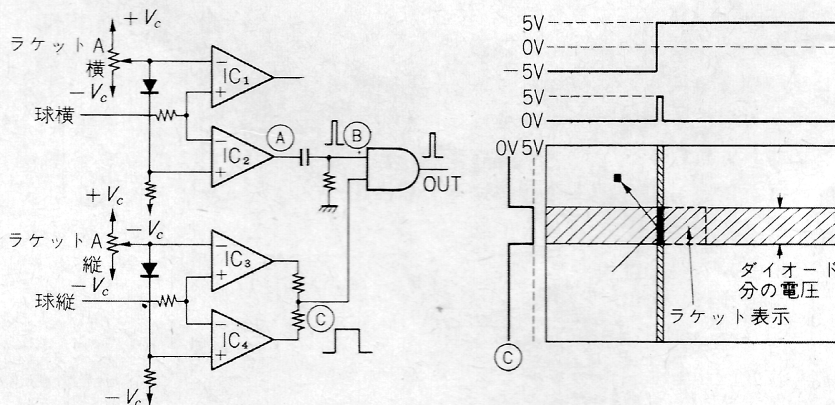
ラケットの位置は可変抵抗で動かしますが，一つのラケットに縦，横二つ使います．これは別々の可変抵抗を使ってもよいのですが，最近4ch用としてレバーを前後左右自由に動かせる可変抵抗が秋葉原に出回っています．

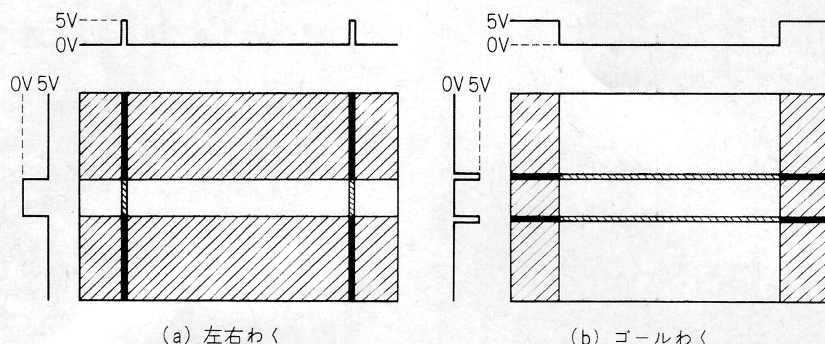
このしくみは非常に機械的で，四方に90°回転の可変抵抗があり，お互いに半円の金属バンドでつながっていて，その中点をレバーで動かすと，VRがその方向の成分だけ回る（写真）というものです．直観的で使いやすいのですが，難をいえば細かい動きがしずらいのが欠点です．それと一番の問題は寿命の点が心配で，動かし方の頻繁さは本来の使い方の比ではありません．

図9は，球がどこに当たるとどんなパルスが出るかを示したものです．ここに示した記号は全回路図を参照してください．見てもわかるように反射位置の検出場所がこれだけあるのですから，回路がそれだけ複雑になるのも理解いただけると思います．

たとえば図10を見てください．これはラケットの左で反射するパルスを作る部分ですが，動作は次のように考えます．まず球縦の電圧がちょうどウィンド・コンパレータになっ

〈写真1〉 ラケット用可変抵抗

〈図10〉 ラケット左の反射パルスの作り方

〈図11〉左右ゴールわく反射の作り方

(a) 左右わく　(b) ゴールわく

ているIC₃，IC₄のダイオード分の電圧のわく内に入ると，このときだけ両方のコンパレータは“H”になり，出力Ⓒも“H”になります．

これが第一条件で，次に横も見なければなりませんが，横はさきほどとは違い線でなくてはなりません．なぜならば，面にしてしまうと，このラケットにどの面から球が当たっても，左面に当たったというパルスが出てしまうからです．そのためIC₂のコンパレータがラケットの左の電圧を示しますので，出力Ⓐを微分して積をとれば，目的のパルスは得られることになります．

わくの反射も同じ考え方でよいのですが，上下わくが単にその面積をとっているのに対して，ゴールわくと左右わくは図11のラケットと同じように，反射検出部は線となっています．

さてここでコンパレータICに何を使うかですが，表示のコンパレータICも含めると何と30本も使うわけで，安くて低消費電力で高速という条件が必要です．

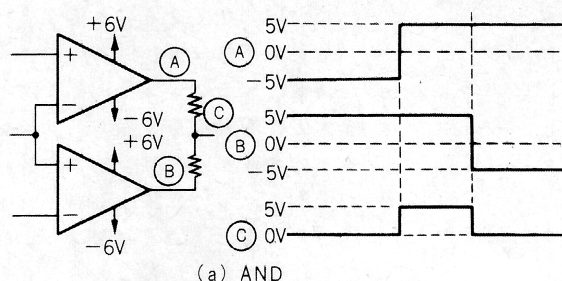
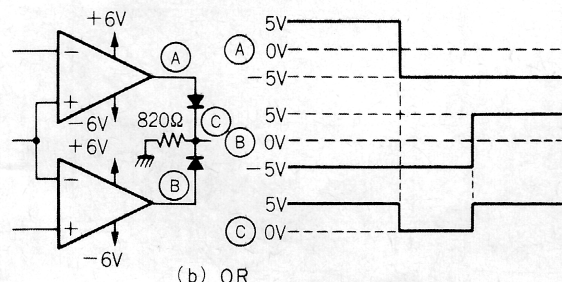
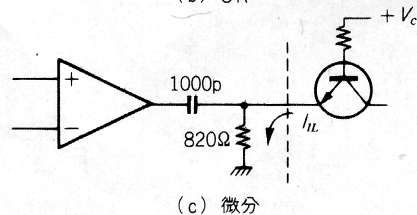
コンパレータ用ICとしては，μA710があります．出力はTTLレベルで高速なのですが，電源電圧が＋12V，－6Vと使いずらく，消費電力や値段の点で少し問題がありますので，ここではμA709を使用しています．このICでしたら名前の違う安い同一規格品も多量に出回っていますので，本数の割には安くできると思います．

μA709は位相補正が外部に出ている関係上，無補正で使えば高速のコンパレータとして充分実用性があります．また電源電圧を±6Vで使用すると，消費電力を少なくすることができ，“H”レベルがそのままTTLに直結可能です．ただ動作電圧が±9V～±15Vとなっていますが，別に問題はありません．

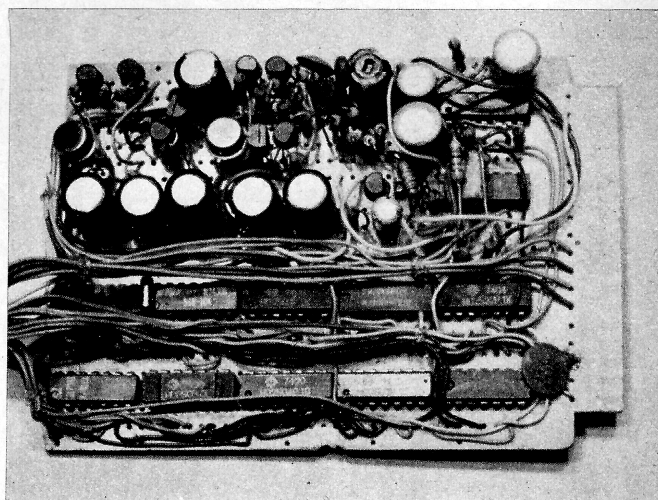
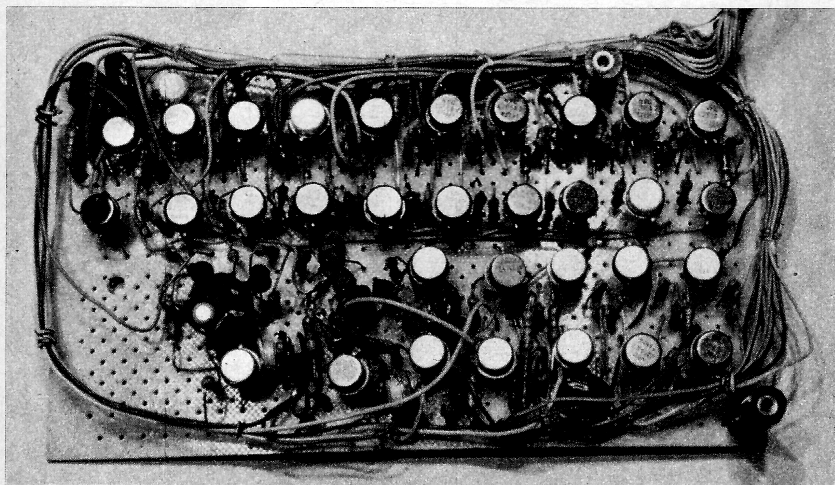
さらに入力保護がこのICには入っていませんので，入力に2本のダイオードを入れたいところですが，球がフィールドの中を動いている状態では，別に問題はありませんので，不要と思われるものは積極的に省略しました．

OPアンプとTTLとのインターフェースは，OPアンプの数が非常に多いので，できるだけ簡単になるようにしています．

図12(a)のウィンド・コンパレータの出力Ⓒは，見掛け上はORですが，負電圧を考慮すると出力は何とANDになって，しかも負電圧は出てきません．

(b) はウィンド・コンパレータの入力の極性を変えることにより，出

(a) AND

(b) OR

(c) 微分

⬅〈図12〉OPアンプとTTLとのインターフェース

⬇〈写真2〉反射信号制御部と球の基板

〈写真３〉反射検出部と表示基板

力はダイオードＯＲを組んでＯＲとしていますし，(a) のインバータとも考えることができます．

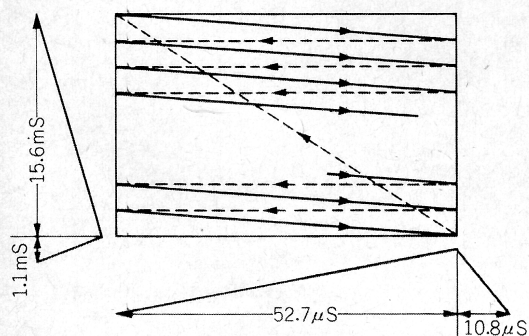
(c) の微分回路の抵抗は，ＴＴＬからの流れ込み電流I_{IL}(max1.6mA, typ1.0mA) のために，あまり大きいと“L”レベルを保てなくなりますが，そうかといって微分動作のためにあまり小さくもできません．一応この 820Ω で動作していますが，まだ少し値が大きいようで，ノイズなどを考えたらもう少し低い抵抗を使いたいところです．

一部の回路で負電圧がＴＴＬの入力に加わりますが，ＩＣのメーカーによってクランプ・ダイオードが入っているのと，いないのがありますので気をつけてください．

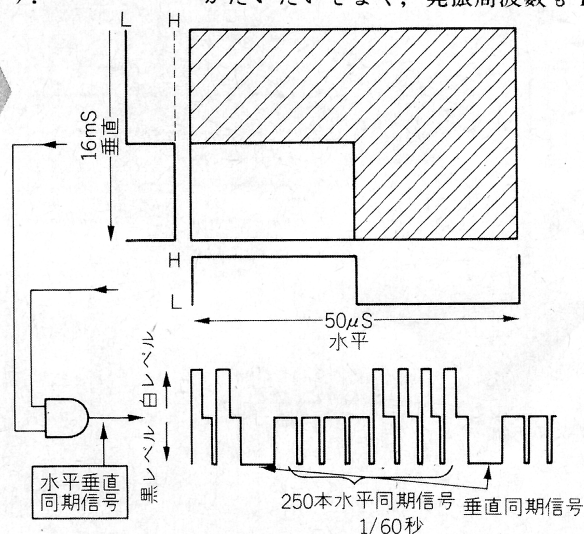
表示

さて，ＴＶでこれらの球やラケットなどを表示するには，これらの映像信号を作ってやらなければなりません．

〈図13〉ＴＶ画面の走査

15.6mS
1.1mS
52.7μS
10.8μS

ＴＶはご存知のように，輝点が横に15.75kHz で動きながら縦に60Hz で動いて，１枚の画面を構成するのですが，これですと走査線の数は15,750/60で262.5本になってしまいます．しかし，商用ＴＶは飛び越し走査を用いて，次の１／60秒で今までの走査の間をもう一度走査するために，1／30秒で走査線525本の完全な１枚の画面を作ります．

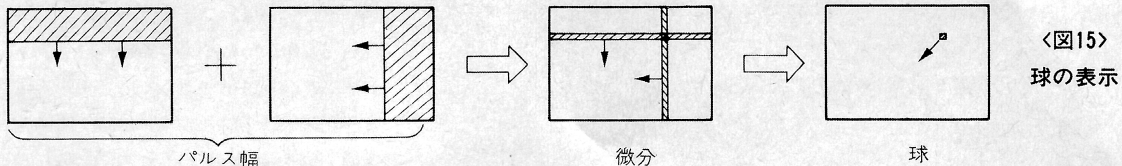
それでは，実際にどのような映像信号を作ってやればよいかを図14で見てください．このように左下部を表示するには，水平と垂直に図のような連続的な波形を作り，両者の積をとって同期信号を加えれば，目的とする映像信号が得られますので，これをＴＶの映像入力に入れれば画面に左下部を表示します．

〈図14〉左下部表示の映像信号

以上でだいたいの映像信号の感じがつかめたと思います．では実際に動く球を表示する方法を考えてみます．

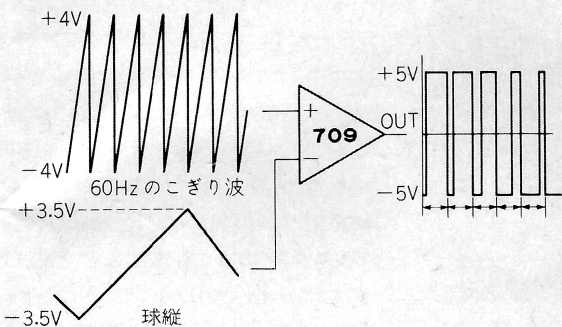
まず球を水平の線と垂直の線の交点，つまり積と考えます．またこの線は面の端を微分したものと考えれば，さきほど作った波形のパルス幅を球の電圧に応じて変化させてやればよいわけです（図15）．

まず考えたことは，単安定マルチバイブレータの*CR*の積による時定数の*R*をトランジスタに置き替え，電圧の関数としてパルス幅変調をしようとしたのですが，リニヤリティと電圧の対応の問題を残しましたので，次に考えたのが今回使っているコンパレータによる方法です．

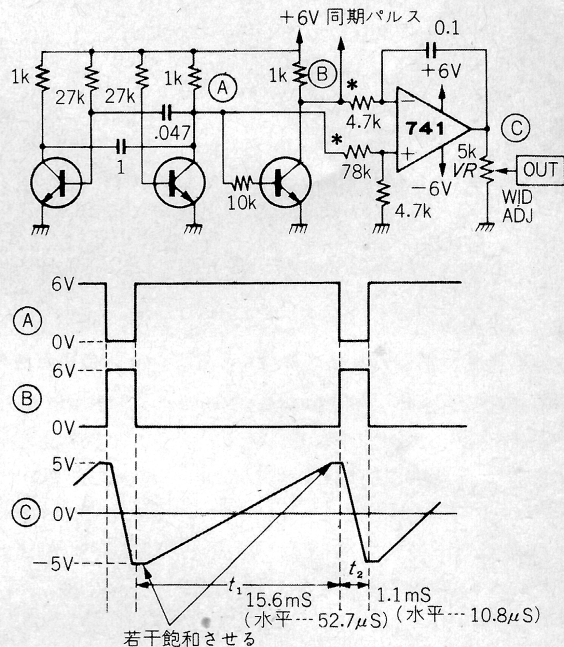
図16のようにコンパレータの⊕入力に60Hz ののこぎり波を，また⊖入力に球縦の電圧を入れます．すると出力からは球とのこぎり波の電圧の一致した所を境に，パルス幅変調された波形が出てきます．このように電圧で作っているために簡単で正確に設定でき，さらに反射パルスで使った位置の電圧をそのまま使えます．しかしその反面正確なのこぎり波を必要とすることになります．

まず安定な発振をと考え，トランジスタのマルチバイブレータで60Hz を発振させています．デューティは図17のように決められてはいますがだいたいでよく，発振周波数もＴ

〈図15〉
球の表示

〈図16〉 コンパレータによるパルス幅変調

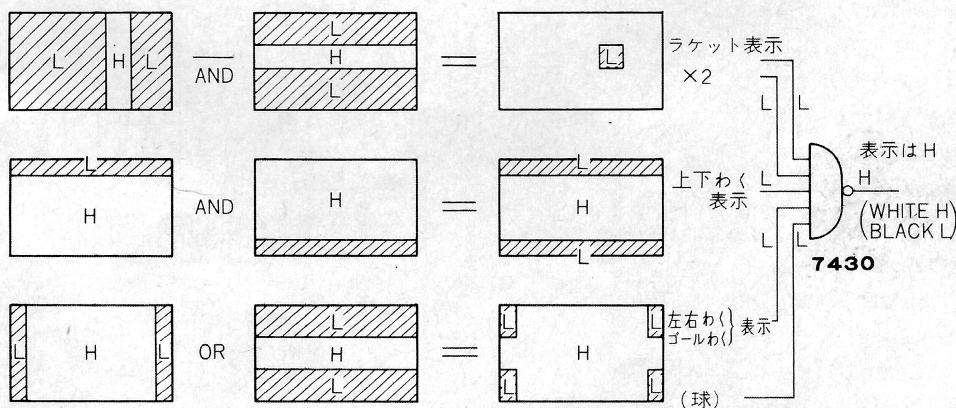
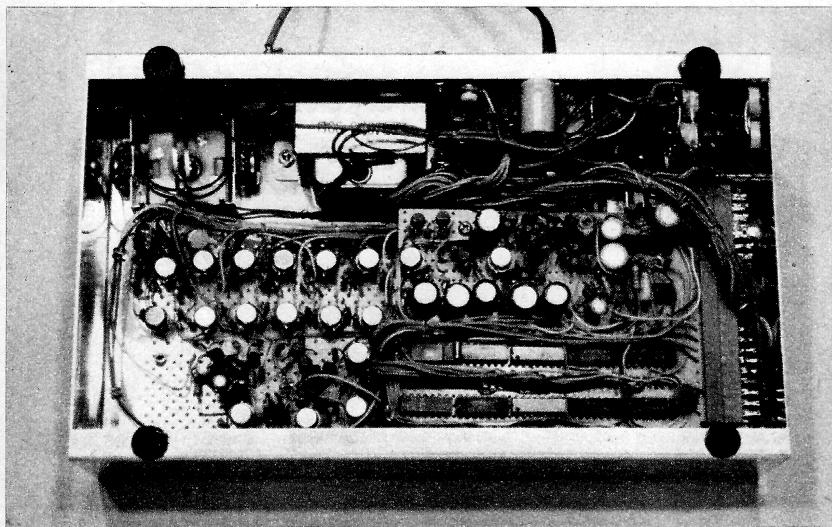
〈図17〉➡
垂直のこぎり波を作る

Vで変えられますので，そんなに気にしなくてもよいようです．Ⓑの波形はⒶのインバータですが，実はTr_1のコレクタからも同じ波形がでますが，波形がきたなくて同期パルスのための負荷がかかるので使っていません．

問題は次ののこぎり波を作るところで，t_1の間Ⓐを⊕入力で積分し，t_2の間Ⓑを⊖入力で逆積分を行なって，電源電圧いっぱいののこぎり波を作ります．しかしこれがくせもので，なかなか理想的にはいかず，まず一発でこの波形がでることはないと思いますから，オシロをながめながら積分抵抗を調整してください．

調整は※の抵抗を半固定にしてもよいのですが，調整後は固定抵抗に置き替えたほうが安定度の点で有利です．それから上限と下限は図のように若干飽和させますと，動作が安定します．

水平も同じでよいのですが，741は使用できません．なぜならば741のスルーレートは0.3V/μSくらいだからです．ここでは10μSで10V下降させるとして，1V/μSで709を発振しない程度に調整して使っています．WID・ADJでOUTを小さくしますと，逆にTV上の画面は拡大されますので……．

球以外の表示は球のところで説明したのと同じように，コンパレータ入力の片側にのこぎり波を，他方に表示する部分の電圧を加えます．ただ今度は表示が面ですので微分はせず，ウィンド・コンパレータを用いたり，ANDやORで単純に図18のように区域を表示しています．

なお，縦を表示する部分のコンパレータには60Hzののこぎり波を，横を表示する部分のコンパレータには15.75kHzののこぎり波を加えます．

ここまでくるとわかると思いますが，前にも述べたように表示と反射との関係は反射が主体で，表示はそ

〈図18〉
ラケット，わく，ゴールの表示

〈写真4〉 本機の内部（ただし，オプションの得点表示回路は含まない）

の電圧関係を水平，垂直ののこぎり波を使うことによりTV上に映すだけですので，表示と実際の反射位置がずれることはありえないのです。

反射音

ラケットに球が当たっても何も音がしないのもつまらないですから，入力電圧コントロール部の単安定マルチの出力で，NANDの発振器を一定時間ONにし，出力はトランジスタ・ラジオ用のアウトプット・トランスでスピーカを鳴らしています。

出力

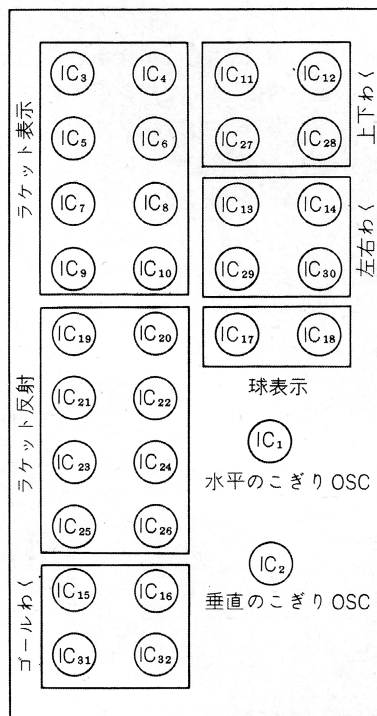
さきほどの表示部で作った信号と，同期信号を*CR*で合成しますと，映像信号ができ上がります。さらにこの映像信号をTVの電波とするためには，一石のRF発振器で2ch（96～102MHz）を発振させ，ダイオードでAM変調をかけて，出力としていますので，これをTVのアンテナ端子に接続すればそれだけでOKです。

電源

このゲーム・セットの一つの重要なポイントは，いかに安定な電源を組むかで，ここの変動がそのまま画面に現われますので，しっかりした電源を作ってください。消費電流は使用したICの本数の割には少なく，＋6Vが250mA，－6Vが80mAとなっています。これはOPアンプを±6Vで使用したために，消費電力が減ったものと思います。

しかし，一方でTTLを6Vで使っていますので，消費電流が少し多めですが，すべてゲートICですので無理を承知で使っています。

製　作

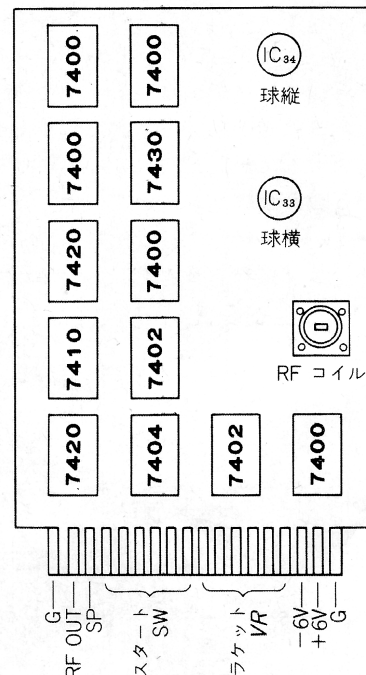
部品は4ch用*VR*以外はすべて手持ちのものばかり使っていますので，709さえ安く手に入ればそんなにお金をかけずにできるのではないかと思います。

基板は図19のように万能基板2枚に電源部を除いてすべての回路を入れ，高密度実装としています。プリント基板にしてもよいでしょう。

もっともかなり詰め込んでありますので，もっとゆったりとICを配置するほうが作りやすいと思います。709の不要なピンはあらかじめ切っておかないと，後でトラブルの原因にもなります。

OPアンプからTTLへいく線は多いですから，色分けなどをしてできるだけミスをしないように配線してください。この回路図ではパスコンは入っていませんが，実際はいたる所に入れてあり，ケミコンも数百μFを各所に入れて，画面が反射音やパルスで乱れないようにしています。

調　整

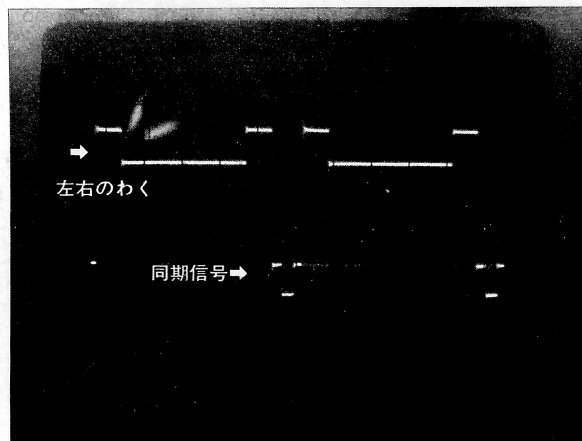
この回路で一番問題となるのは，のこぎり波を作る所ですので，じっくり腰をすえて取りかかります。

〈図19〉 IC配置図

まず，マルチバイブレータの発振周波数と波形が図17のようになっているかを確認してください．値がそんなにずれることはないと思いますが，後でＴＶの同期ツマミを動かさなくてすみます．次の積分ではオシロは必ず必要で，図17の波形になるように抵抗をカットアンドトライで調整します．

水平の709の位相補正をしすぎますと，スルーレートが悪くなり，所望の波形がでなくなりますが，そうかといって少ないと発振してしまいますので，ここもまた調整を要する個所です．

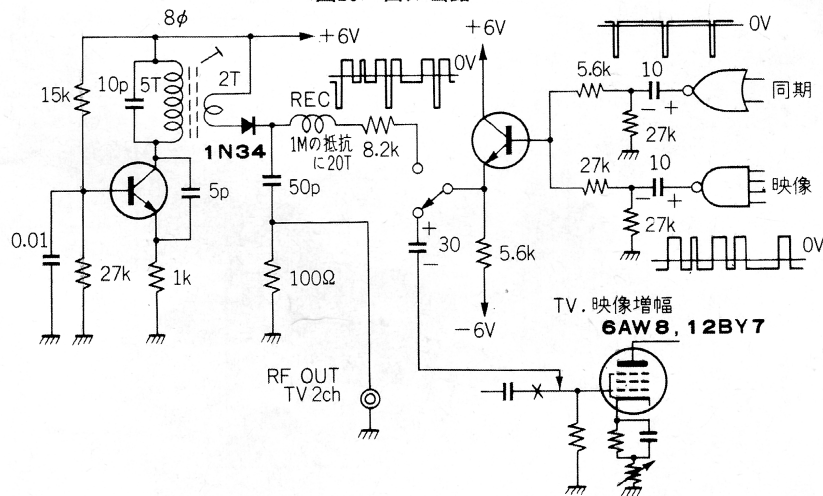
ここまでくれば後はＴＶをみながら調整できますが，その時ＷＩＤ・ＡＤＪは最大にしておきます．

始めから電波にしてもよいのですが，変調をかけるとそれだけまたトラブルも増えますので，図20のように最初は映像信号だけをＴＶの映像増幅管のグリッドに入れて，調整したほうがよいようです．ただこの信号は正極性ですので，トランジスタＴＶの場合はグランドと信号線をひっくりかえしてつけるというインチキをします．

変調はダイオードに流す電流により等価内部抵抗が変わるという，非直線性を利用してＡＭ変調をかけています．ＲＦの発振は２chに合わせていますが，これは関東の場合で，１～３chの中の空きチャンネルに発振周波数を合わせてください．

〈写真５〉
水平方向の映像信号（上側が白，下側が黒）

出力はＴＶのアンテナ端子につければよいのですが，強電界ですと他のチャンネルの波の影響を受けますので，同軸やシールド線で接続したほうがよいようです．一方これは発振器で電波が出ていますので，共同受信アンテナなどの場合は，アンテナをはずしておかないと，他のＴＶに影響を与えますので注意が必要です．

表示さえ出れば後は楽なもので，球が反射しなければその部分を追っていけばよいわけで，ＴＶという表示器を充分活用してください．全体の位置が少しずれている程度でしたら，電源電圧を少し変えることにより直ります．

結果

安く作ろうとしたために，コンパレータに709同等品を使ったり，後は手持ちの部品で作ったため非常に安くできました．しかし新品を使ったとしても安い場所を捜して買えば，１万５千円以内で作れると思います．

ところでこの709ですが，写真のラケットの大きさは回路からいくと縦より横の表示が大きくなるのですが，どういうわけか表示はほぼ逆です．これは実に709の立ち上がりの遅れによるもので，710と比較すると一目瞭然です．スルーレート的には問題はないのですが，立ち上がるまでの時間の遅れによるものと思われます．

しかしゲームとしてはほとんど問題にならない所で，充分楽しめる範囲となっています．

〈図20〉 出力回路

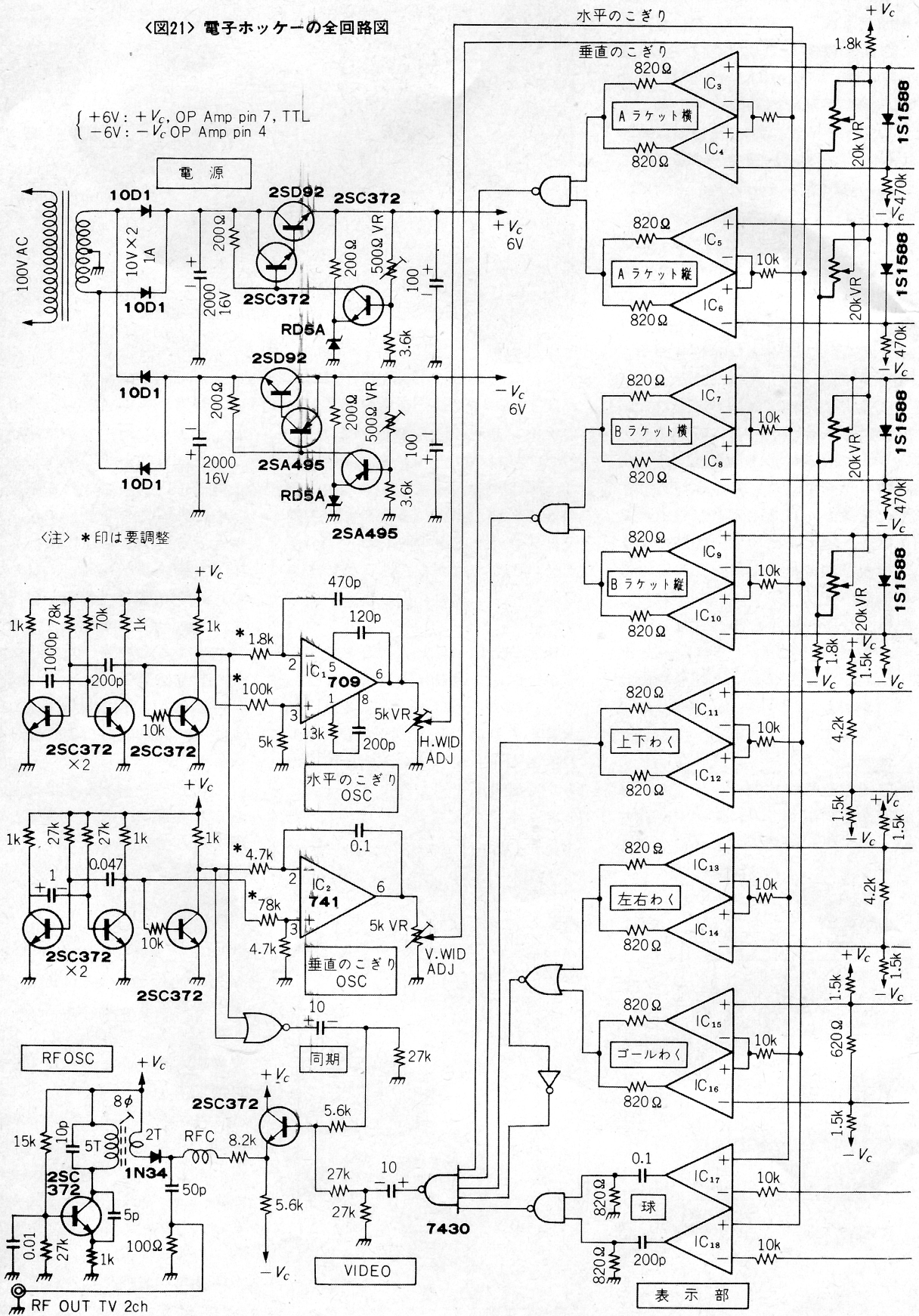
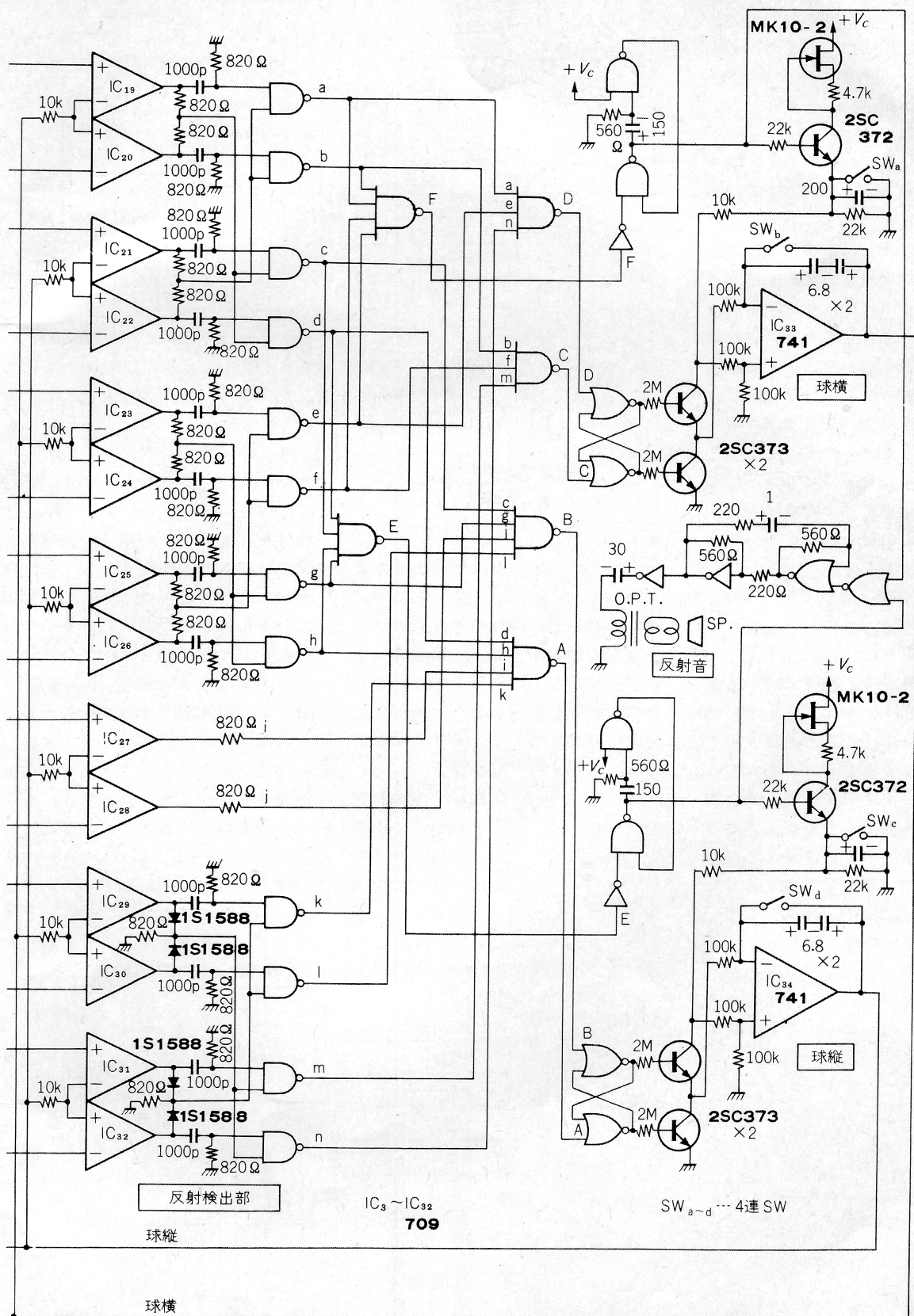
ゲームをさらにおもしろくするための得点表示部の製作

ゲームとしてはこれまでの回路で充分楽しめると思いますが，ここまで作るとさらにゲームとしての機能を増加させようと思いたくなるのが人情です．

これから説明する得点表示部の製作は，互いのゴールに入れた点数を７セグメントでＴＶの画面上に表示しようというもので，本体をほとんどいじらないので，オプション的な形となります．

本体だけでもかなりのＩＣを使用していますので，ゲームの回路にこ

〈図21〉電子ホッケーの全回路図

MK10-2
+Vc
4.7k
2SC
372
22k
SWa
200
22k
10k
SWb
6.8
×2
100k
IC33
741
100k
100k
球横
2M
2SC373
×2
220
1
560Ω
30
560Ω
220Ω
O.P.T.
SP.
反射音
MK10-2
4.7k
22k
2SC372
SWc
560Ω
150
10k
22k
SWd
6.8
×2
100k
IC34
741
100k
100k
球縦
2M
2SC373
×2
560
Ω
150
IC19
IC20
IC21
IC22
IC23
IC24
IC25
IC26
IC27
IC28
IC29
IC30
IC31
IC32
10k
1000p
820Ω
1S1588
反射検出部
IC3～IC32
709
SWa～d … 4連SW
球縦
球横

れだけ凝る必要があるかどうかは疑問ですが，ゲーム自体のおもしろさが増す上に技術的なおもしろさが加わりますので，余力のある方は作ってみてはいかがでしょうか．

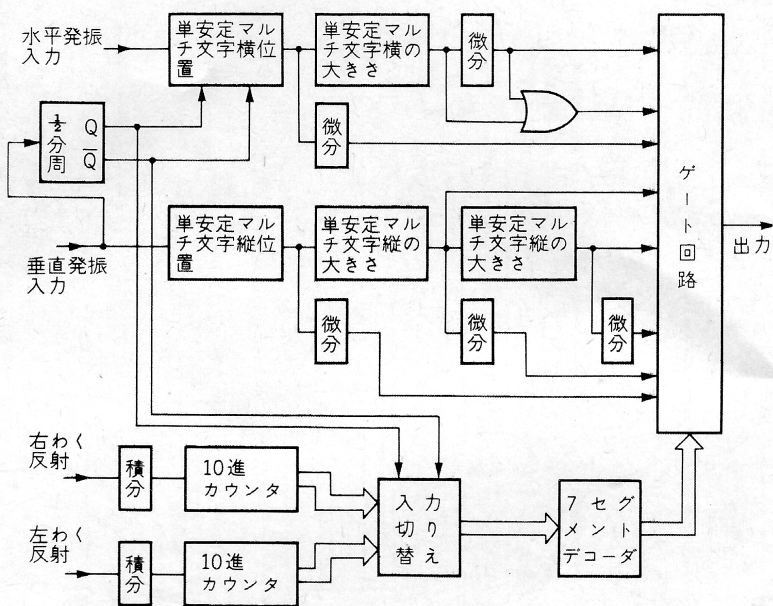
回路構成

点数をつけるだけでしたら，発光ダイオード表示でよいのですが，それでは余りに平凡です．TVという表示画面があるのですから，数字をいかに簡単に表示させるかを考えてみます．ダイオードによるマトリックスで数字を作るとすると，回路は複雑になりますので，ここでは7セグメント・デコーダICを用いて，7セグメントの数字を2個表示させることにします．

図22がブロック・ダイヤグラムですが，カウンタが二つあるのにデコーダが一つしかないのは，一つの文字で位置を変えることにより，二つの文字として使っているためです．これにより結局一つの数字を作ればよいことになります．

基準になる水平，垂直のクロックは，本体のマルチバイブレータの出力からもらいますが，そのままTTLの入力に加えますと，この負荷の影響で画面の位置がずれてしまいましたので，入力はトランジスタで受けて負荷を軽くしています．このクロックを基に，単安定マルチバイブレータと微分で数字を形成しますが，**図23**を見てください．

水平のクロックでまず位置を決めるための単安定マルチバイブレータを働かせ，その立ち下がりを微分すると同時に，次の文字の大きさを決める単安定マルチバイブレータを働かし，さらにその立ち下がりの微分もとります．

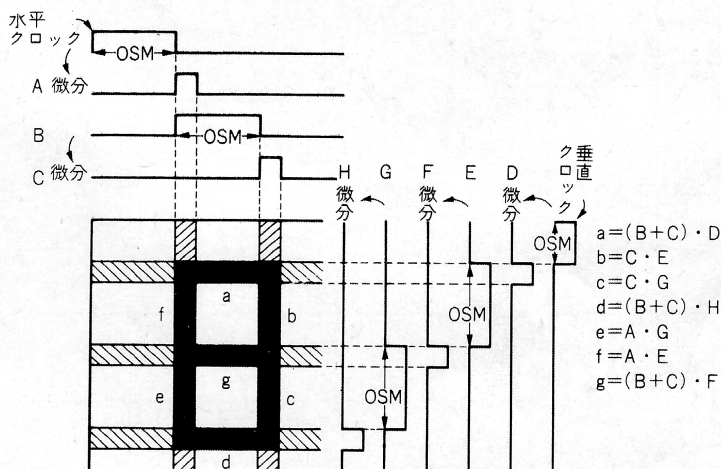
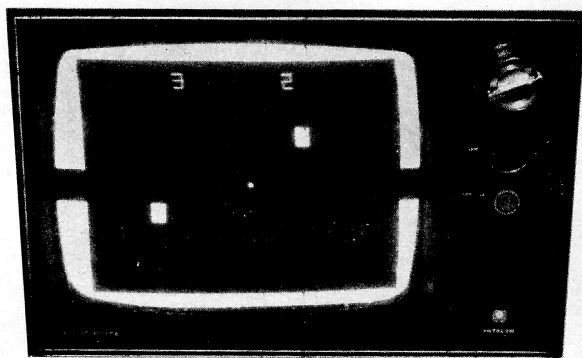
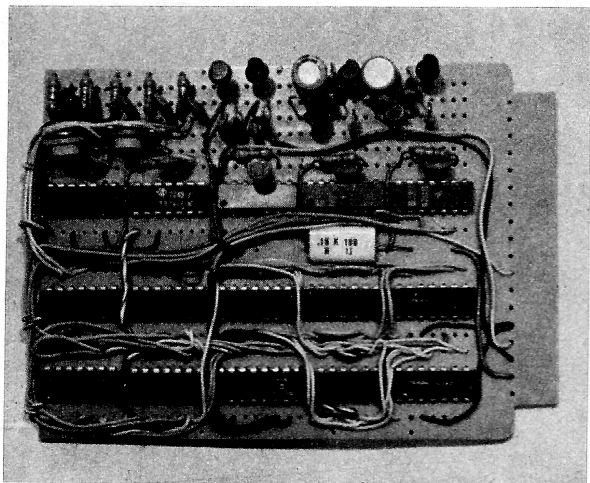
垂直方向も水平と同じ考え方で作ればよく，最終的には2本の縦線と3本の横線を作ることになります．ここまで作りましたら，7セグメントのおのおののセグメントはこれらの波形の積をとればよいのですが，積だけでは数字の右下端が欠けてしまいますので，一部和も使用しています．

これで基になる「日の字型」ができましたので，7セグメント・デコーダICの出力をおのおのに加えれば目的とする数字ができ上がります．これで1文字分はできましたが，二つめはこれをそのまま使い，時間的に位置だけを変えることによるダイナミック表示としています．

つまり始めの1／60秒で左の得点を表示した後，次の1／60秒で水平方向の位置を決める，単安定マルチバイブレータの時間幅の時定数を大きくして，右の得点位置になるようにします．表示時間は1／2になりますが，都合のよいことに明るさも半分になって，球やラケットと区別がつきやすくなります．また1／30秒ごとの表示でしたら，ちらつきはほとんど無視できます．

もちろんこれと同時に，このデコーダICの入力となる点数のカウンタの両出力をも切り替えています．

ところで本体のどこから得点の信号をもらうかですが，残念ながらこのままでは得ることはできません．ゴールワクの内にもう一つコンパレータをつけて，検出してもよいのですが，それでは本体をいじってしまうことになります．そこで左右ワク

〈図22〉得点表示のブロック・ダイヤグラム

〈図23〉単安定マルチバイブレータと微分による数字の表示

⬅〈写真 6〉 得点表示基板

〈写真 7〉 ＴＶ画面に表示したラケット（四角）と球（白い点）．数字は得点表示

の反射のコンパレータ出力に注目します．

ここでは球が左右ワクに当たると，出力は“H”になりますが，球は反射してすぐに“L”にもどります．一方，ゴールの中へ入ると“H”になったままの状態を続けます．そこでこの出力を積分すれば，得点信号が作れることになります．この回路では50 kΩ と 3 μＦで積分回路を構成していますが，誤動作は起こしていません．

次に表示出力ですが，ＤＴＬによるワイヤードＯＲの出力は負論理です．これを本体のどこにつけるかですが，表示用のコンパレータの出力はすべて，7430に入って負論理でＯＲされています．このＩＣは８入力ＮＡＮＤで３入力余っていますので，この一つに入れています．

以上は図24を参照してください．

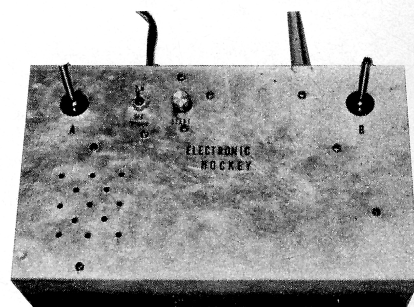
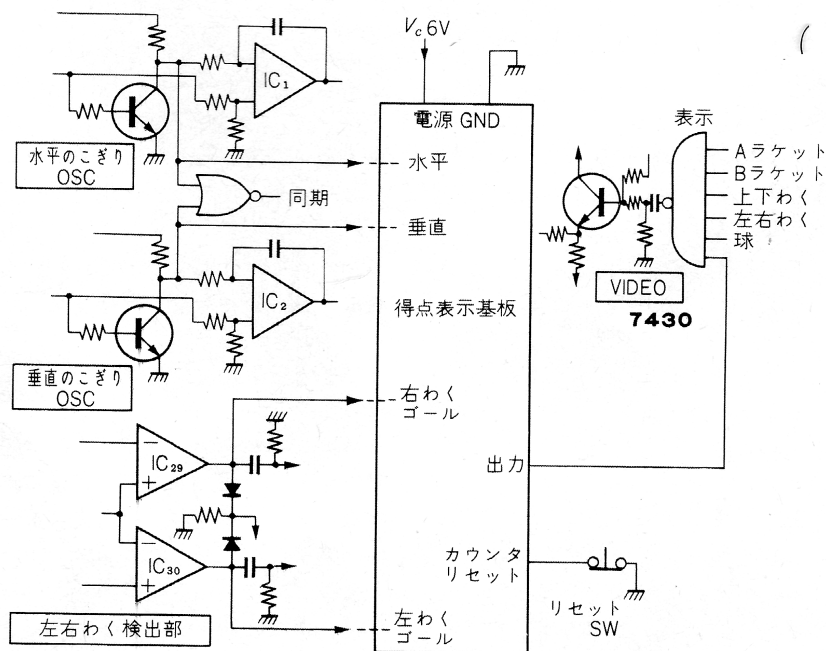
最後に電源ですが，ＭＳＩも含んでいますので，これを６Ｖで動作させるのは酷ですから，直列にシリコン・ダイオードを入れて，5.3Ｖで使用しています．電流は約200mA流れますので，本体の電源と相談してください．

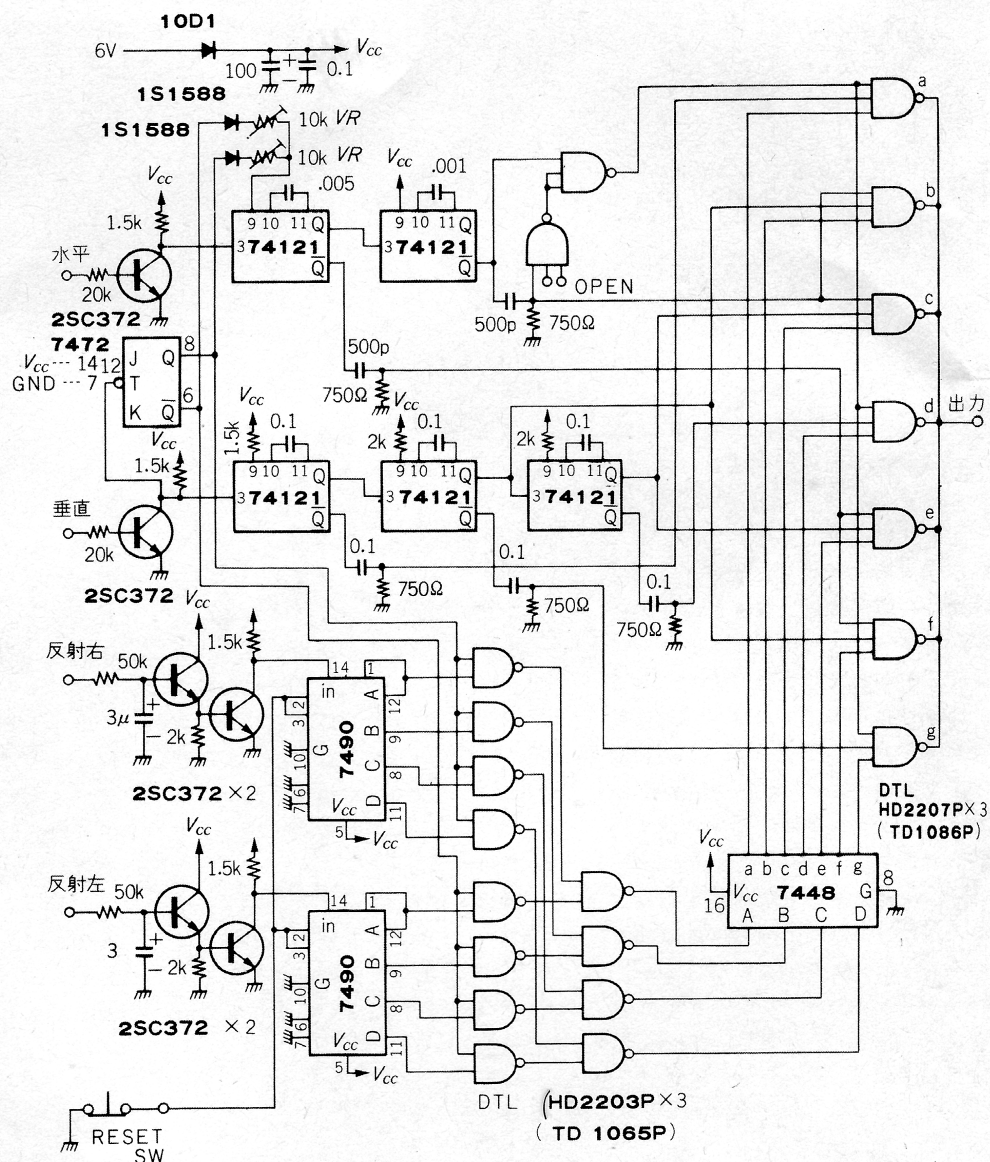
製作・調整

ゲートにＤＴＬを使用していますが，これは出力を直接結合してワイヤードＯＲできるというＴＴＬにない特徴があり，ゲートＩＣを一つ省けるからです．ただＤＴＬは手に入りにくいので，ＴＴＬにするにはＨＤ2203Ｐを7400に，ＨＤ2207Ｐは7410に変え，ワイヤードＯＲを８入力の7430にして，最後をインバータすればかまいません．

製作としては，ゲートの配線さえ間違えなければ，確実に動作すると思いますが，ただ74121の時間幅と微分時間の調節が必要です．これはそんなに値が大幅にずれることはないと思います．数字の大きさはゲームに支障のないよう，ラケットと同じくらいの大きさにして中央上部に表示します．

74121は，単安定マルチバイブレータで，入力のゲートの出力が“L”→“H”でトリガがかかります．出力パルス幅は，$\tau = 0.69\,CR$で決定されます．Cはピン10と11の間に入れますが，極性はピン10が(＋)になります．Rは11ピンと14ピンにつけますが，中付き抵抗２ kΩ がピン９と11に入っていますので，それを使うこともできます．つまり外部抵抗

〈図24〉 本体との接続図

〈写真 8〉 本機の外観

〈図25〉
得点表示回路図

を使わないなら，ピン９をピン14に接続すればよいわけです．

7448は７セグメント・デコーダ／ドライバで，7447と違うのは出力が負論理のオープン・コレクタとなっていないことです．

二つの数字の左右の位置は，10 kΩの半固定で調整してください．単安定マルチバイブレータの動作や調整はオシロを使う必要はなく，見たい部分を本体表示部の7430の入力に入れれば，ＴＶに表示してくれます．

電源を入れると，どういうわけか7490の全出力が“H”になり，この状態では7448の出力はすべて“L”になって，画面には何も表示しませんので，必ずリセットSWを押してゼロにするようにしてください．

最後に

ＴＶという表示器はディスプレイとしては最高で，しかも一家に１台以上あるのですから，もっとこの種のゲームなどが作れるのではないかと思います．

ここで作った得点表示回路も，少し手を加えれば時計の時間をＴＶに表示することもできますし，その他いろいろおもしろいことが考えられると思います．

もっともこのゲーム自体にもっといろいろなこと，たとえばラケットを球に当てる時，ラケットの動いて来た速度によって球の速度もコントロールしようとか，ラケットを斜めにできないものとかいろいろ考えられます．

なおこのゲーム・マシンは特許出願中ですので，アマチュアが作るぶんにはかまいませんが，製品化する場合は筆者にご相談ください．

最後に，この製作に協力してくださった東京理科大学無線研のみなさんに深謝いたします．